

Polovodičové lasery

Energie elektronů v atomech nabývá diskretních hodnot – energetické hladiny.

Energetické hladiny tvoří pásy

Nejvyšší zaplněný pás je valenční, nejbližší vyšší energetický pás dovolených energií je pás vodivostní.

Pokud je valenční pás plný a vodivostní pás prázdný, pak je taková látka buď dielektrikem nebo polovodičem:

- 1) **dielektrikum** je látka, ve které je vzdálenost valenčního a vodivostního pásu velká, proto se téměř vůbec neprojevuje teplotní excitace
- 2) **polovodičem** je látka, ve které je vzdálenost valenčního a vodivostního pásu malá (2-3 eV), termální excitace elektronů z valenčního do vodivostního pásu se projevuje, proto vodivost polovodiče roste s teplotou polovodiče (na rozdíl od kovů, ve kterých vodivost klesá v rostoucí teplotou)

U polovodičových materiálů závisí jejich fyzikální vlastnosti hodně na vnějších fyzikálních podmínkách (teplota, osvětlení atd.).

Příměsové polovodiče typu N, P

Některé příměsi a poruchy výrazně ovlivňují elektronovou vodivost

Donory – nečistoty typu N – poskytují elektrony

Akceptory – nečistoty typu P – přijímají elektrony z valenčního pásu – ve valenčním pásu zanechávají díry

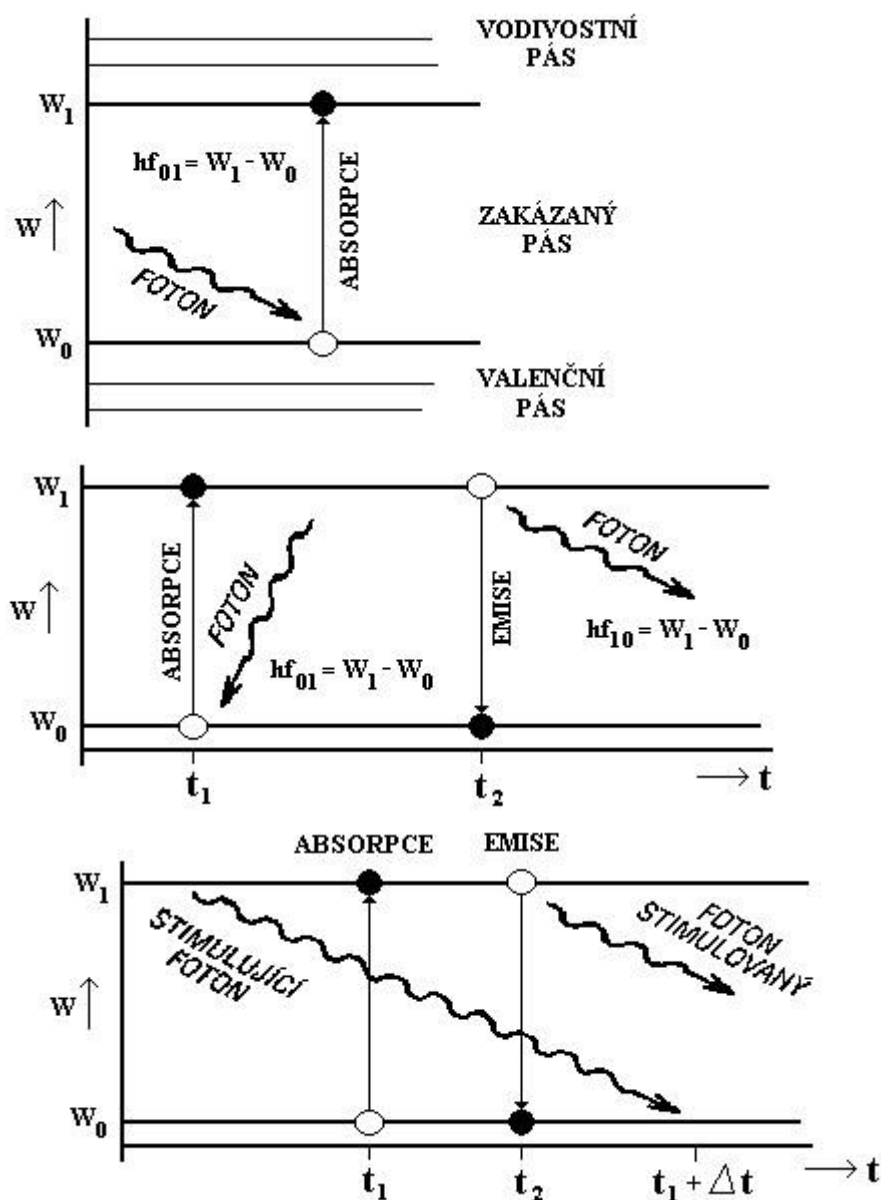
Laserová činnost v polovodičových laserech

Je založena na rekombinaci elektronů a děr

Dopadající fotony mohou být buď absorbovány nebo mohou způsobit stimulovanou emisi (důsledkem je rekombinaci)

Musí být dosažena inverze populace mezi vybranými hladinami

Laserová činnost – zářivá rekombinace

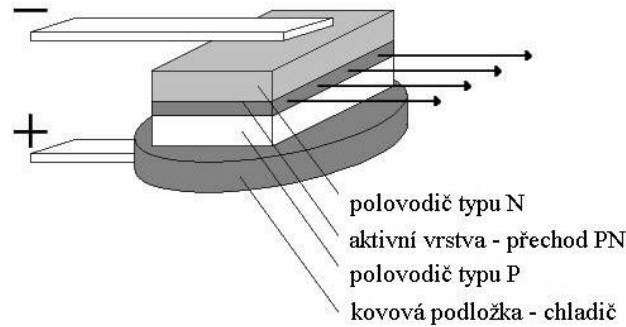


Rezonátorem jsou zalomené vyleštěné plocha čel polovodičového materiálu.

Typy polovodičových laserů

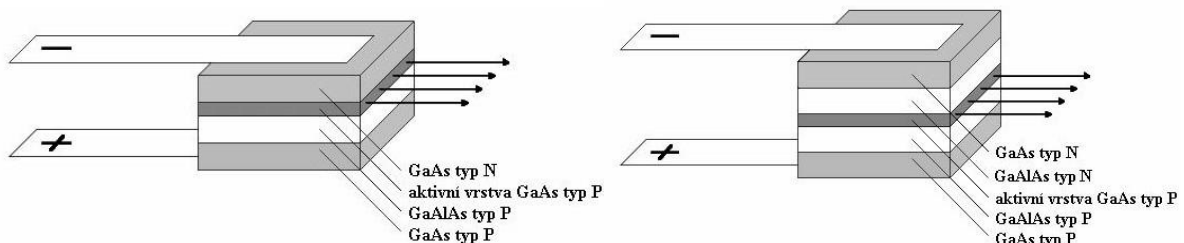
1) homostrukturní

Je tvořen přechodem PN. Neexistuje zde výrazná skoková změna indexu lomu, která by podmiňovala optické soustředění, ani vysoká potenciálová bariéra zajišťující soustředění nosičů náboje. Šířka rekombinační oblasti (aktivní vrstvy) je v podstatě určena difúzní délkou menšinových nosičů (pro silně dopovaný GaAs 1-3 μm). Záření se soustřeďuje vlivem gradientu indexu lomu a vlivem rozdílu koncentrace nosičů náboje.



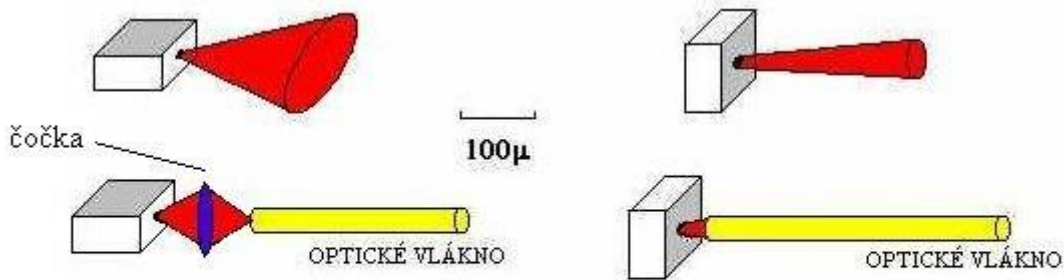
2) heterostrukturní lasery

V těchto typech laseru s heteropřechody je vymezení vlnovodu dáno skokovou změnou indexu lomu v oblasti heteropřechodu, která je funkcí rozdílu šířky zakázaného pásu sousedních vrstev **heterostruktury** (krystalická vrstevnatá struktura obsahující alespoň jednu epitaxní vrstvu odlišného chemického složení než je složení podložky, u PL je důležité přizpůsobení mřížkových parametru). Současně s účinným vedením světla zabezpečuje heterostruktura i podmínky k účinnému soustředění menšinových nosičů.



3) hranově vyzařující lasery

Tento typ konstrukce polovodičových laserů - laserových diod (Edge Emiting Lasers - EEL) vysílá záření z hrany přechodu. Ve výrobě i aplikacích laserových diod zatím převládá. Principiální schéma z hlediska vyzařování je vidět na obr.

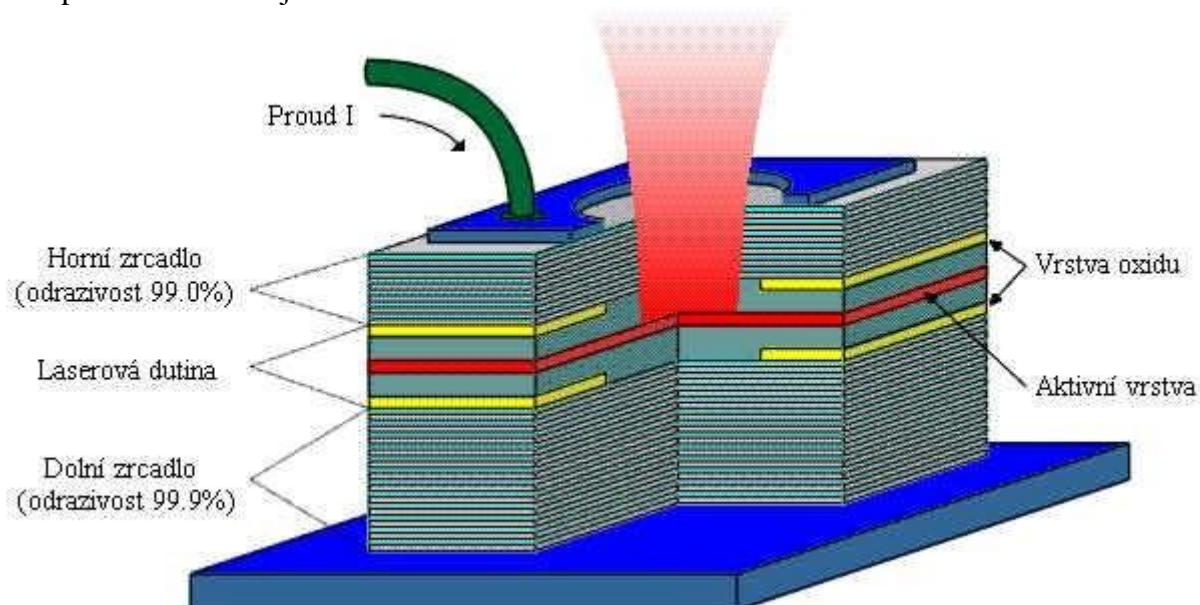


Hranově vyzařující LD

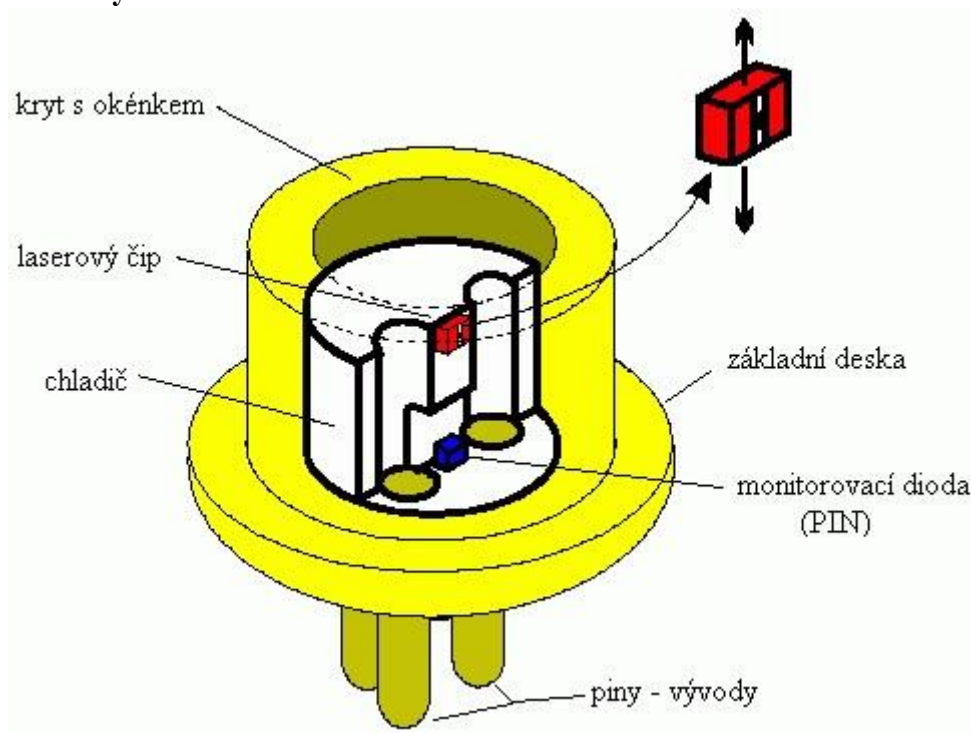
Plošně vyzařující LD

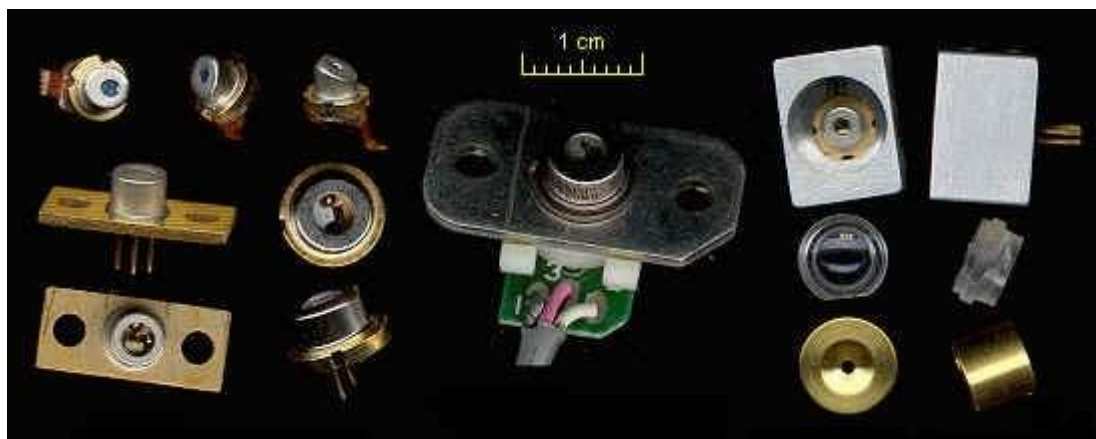
4) plošně vyzařující lasery

VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers) emitují záření z plochy součástky rovnoběžné s rovinou přechodu. Záření emitované z plochy je pohlceno substrátem a ztraceno nebo, což je výhodnější, se odráží od kovového kontaktu (tj. možné při použití transparentního substrátu). Tento typ konstrukce bývá účinnější nežli hranově emitující LD (EEL). Při navazování světelného záření z VCSEL do optického vlákna bez dalších optických komponent se dosahuje účinnosti až 80%.

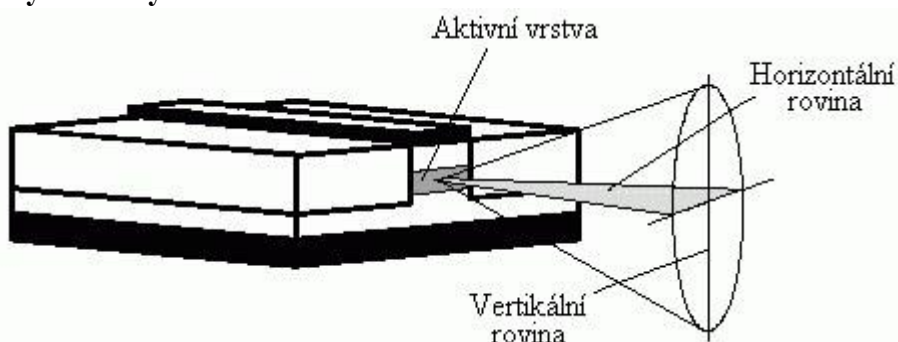


Pouzdra laserových diod

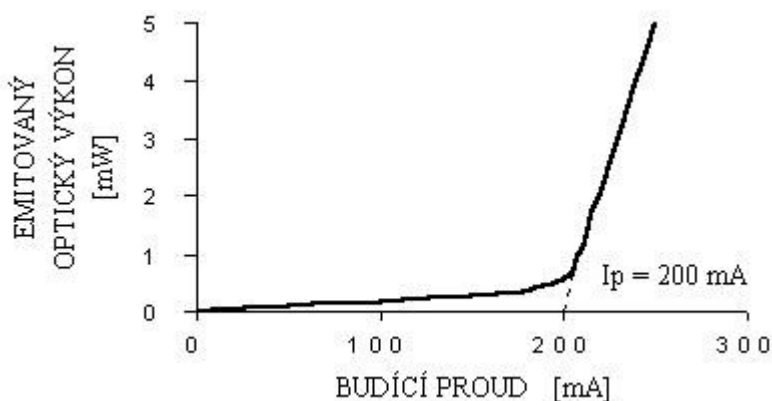




Parametry laserových diod



Nejdůležitější charakteristikou laserové diody je závislost jejího optického výkonu na procházejícím proudu, tzv. **Watt-Ampérová** či **L-I charakteristika**. Jestliže postupně zvyšujeme procházející proud (v propustném směru), laserová dioda nejprve vykazuje spontánní emisi, která je charakterizovaná malou intenzitou (jednotky až desítky μW) a širokým, nemonochromatickým spektrem. Po dosažení tzv. **prahového proudu I_p** (bývá značen také jako I_{th} ...threshold - práh) dojde k náhlému přechodu z režimu spontánní emise do režimu stimulované emise, intenzita vycházejícího světla se začne prudce zvyšovat a spektrální šířka se výrazně zúží, laserová dioda pak svítí monochromatickým koherentním světlem, jehož intenzita je lineární funkcí budícího proudu. Zároveň také dochází ke kvalitativní změně tvaru vyzařovací charakteristiky laserové diody vyjádřené zmenšováním úhlu vyzařování v rovině kolmé a rovnoběžné s rovinou přechodu PN, rovněž ke zmenšení šířky pásma emitovaného záření.



Vlastnosti polovodičových laserů

Laserové diody mají mnoho **výhodných vlastností**, z nichž pro technickou praxi jsou nejdůležitější zejména:

- vysoká účinnost přeměny elektrické energie na energii koherentního optického záření
- malá setrvačnost dovolující modulaci laseru až do frekvencí 10^{10} Hz
- miniaturní rozměry podmíněné existencí vysokých hodnot zisku v objemu polovodiče, což umožňuje udržet generaci i při malých rozměrech aktivního prostředí
- jednoduchost součástky, možnost nízkonapěťového napájení, podmiňující slučitelnost s integrovanými obvody
- vlnová délka záření generovaného polovodičovými lasery roste s rostoucí teplotou (přibližně o $0.3 \text{ nm} / 1 \text{ }^\circ\text{C}$)

Polovodičové lasery však mají i určité **nedostatky**, mezi něž patří:

- nižší prostorová a časová koherence generovaného optického záření
- nižší teplotní stabilita a odolnost proti vlivům ionizujícího záření

Současné technologie dovolují připravit lasery se zaručenými parametry a dobou života kolem 10^5 hod. Uvedené okolnosti způsobují, že LD mají **široké aplikační možnosti** v různých oblastech vědy a techniky.

Příklady polovodičových laserů

Aktivní oblast / substrát	vlnová délka, využití
InGaN / GaN	380 nm, 450 nm
AlGaInP / GaAs	630-670 nm, laserová ukazovátka
AlGaAs / GaAs	720–850 nm, CD přehrávače, laserové tiskárny
InGaAs / GaAs	900-1100 nm, čerpání pevnolátkových laserů
InGaAsP / InP	1.2–2.0 μm , optické vláknové komunikace, spektroskopie
AlGaAsSb / GaSb	1.8–3.4 μm , senzory, spektroskopie